



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102701208 A

(43) 申请公布日 2012. 10. 03

(21) 申请号 201210207135. 6

(22) 申请日 2012. 06. 21

(71) 申请人 上海硅酸盐研究所中试基地
地址 201800 上海市嘉定区城北路 215 号
申请人 中国科学院上海硅酸盐研究所

(72) 发明人 高攀 陈建军 严成锋 刘熙
孔海宽 忻隽 郑燕青 施尔畏

(74) 专利代理机构 上海瀚桥专利代理事务所
(普通合伙) 31261

代理人 曹芳玲 郑优丽

(51) Int. Cl.

C01B 31/36 (2006. 01)

C30B 29/36 (2006. 01)

C04B 35/565 (2006. 01)

权利要求书 2 页 说明书 6 页

(54) 发明名称

高纯碳化硅粉体的高温固相合成方法

(57) 摘要

本发明涉及一种高纯碳化硅粉体的高温固相合成方法,包括:配料工序:将高纯 Si 粉和高纯 C 粉混合均匀,其摩尔比为 1:1 ~ 1.5:1;高真空热处理工序:将高纯 Si 和 C 粉放入坩埚中,然后置于加热炉中,对加热炉的生长室抽高真空至 9×10^{-4} Pa 以下,同时将温度升高至 600 ~ 1300°C,保持 2 小时以上;惰性气体清洗工序:向生长室中充入第一规定压力的高纯惰性气体,保持 1 小时以上后,再抽真空至 9×10^{-3} Pa 以下,该工序重复 2 次以上;以及高温合成工序:在第二规定压力的高纯惰性气体下,于反应温度 1500 ~ 2500°C 下,保持反应 2 小时以上,而后降至室温,即可得到氮含量在 15ppm 以下的高纯碳化硅粉体。

1. 一种高纯碳化硅粉体的高温固相合成方法,其特征在于,包括:

配料工序:将高纯 Si 粉和高纯 C 粉混合均匀,所述高纯 Si 粉和高纯 C 粉的摩尔比为 1:1 ~ 1.5:1;

高真空热处理工序:将所述高纯 Si 粉和高纯 C 粉放入坩埚中,然后置于加热炉中,对所述加热炉的生长室抽高真空至 9×10^{-4} Pa 以下,同时将温度升高至 600 ~ 1300°C,保持 2 小时以上;

惰性气体清洗工序:向所述生长室中充入第一规定压力的高纯惰性气体,保持 1 小时以上后,再抽真空至 9×10^{-3} Pa 以下,该工序重复 2 次以上;以及

高温合成工序:在第二规定压力的高纯惰性气体下,于反应温度 1500 ~ 2500°C 下,保持反应 2 小时以上,而后降至室温,即可得到氮含量在 15ppm 以下的高纯碳化硅粉体。

2. 根据权利要求 1 所述的高温固相合成方法,其特征在于,所述高纯 Si 粉和高纯 C 粉的粒度为 60 ~ 300 目,纯度大于 99.99%。

3. 根据权利要求 1 或 2 所述的高温固相合成方法,其特征在于,所述高纯 Si 粉和高纯 C 粉的摩尔比为 1:1 ~ 1.1:1。

4. 根据权利要求 1 所述的高温固相合成方法,其特征在于,在所高真空热处理工序中,将温度升高至 1000 ~ 1300°C。

5. 根据权利要求 1 所述的高温固相合成方法,其特征在于,所述高纯惰性气体的纯度大于 99.99%,所述高纯惰性气体为氩气、氮气或其混合气体。

6. 根据权利要求 1 或 5 所述的高温固相合成方法,所述第一规定压力为 1.066×10^5 Pa 以下。

7. 根据权利要求 6 所述的高温固相合成方法,其特征在于,所述第一规定压力为 $1.0 \times 10^4 \sim 7.0 \times 10^4$ Pa。

8. 根据权利要求 1 或 5 所述的高温固相合成方法,所述第二规定压力为 $1.0 \times 10^4 \sim 7.0 \times 10^4$ Pa。

9. 根据权利要求 1 所述的高温固相合成方法,其特征在于,在所述高温合成工序中,反应温度为 1800 ~ 2100°C。

10. 根据权利要求 1 所述的高温固相合成方法,其特征在于,在所述高温合成工序期间,反应器通循环水冷却。

11. 根据权利要求 1、9 或 10 所述的高温固相合成方法,其特征在于,所述高温合成工序包括:第一合成工序:将温度升温至第一反应温度,反应 1 小时以上;

第二合成工序:升温或降温至第二反应温度再反应 2 小时以上;以及

重复所述第一合成工序和第二合成工序;

其中,所述第一反应温度和第二反应温度分别独立的选自所述反应温度中的任意值,且所述第一反应温度不同于所述第二反应温度。

12. 根据权利要求 1 所述的高温固相合成方法,其特征在于,所述加热炉为中频感应加热炉或电阻加热炉。

13. 根据权利要求 1 所述的高温固相合成方法,其特征在于,所述坩埚为能用于 2000°C 及以上的石墨坩埚或氧化铝坩埚。

14. 一种根据权利要求 1 ~ 13 中任一项所述的高温固相合成方法制备的高纯碳化硅粉

体,其特征在于,所述氮含量在 15ppm 以下。

15. 根据权利要求 14 所述的高纯碳化硅粉体,其特征在于,所述氮含量为 5 ~ 15ppm。

高纯碳化硅粉体的高温固相合成方法

技术领域

[0001] 本发明涉及无机非金属材料领域,具体涉及碳化硅合成技术领域,尤其是涉及一种高纯碳化硅粉体,尤其是氮含量低的高纯碳化硅粉体的高温固相合成方法,制备的碳化硅原料可广泛用于半导体 SiC 单晶体的生长及高纯 SiC 陶瓷样品的制备。

背景技术

[0002] 碳化硅(SiC)单晶材料具有宽禁带、高热导率、高电子饱和迁移速率、高击穿电场等性质,与以第一代半导体材料和第二代半导体材料相比有着明显的优越性,被认为是制造光电子器件、高频大功率器件、电力电子器件理想的半导体材料,在白光照明、光存储、屏幕显示、航天航空、高温辐射环境、石油勘探、自动化、雷达与通信、汽车电子化等方面有广泛应用。SiC 通过掺杂导电或通过各种加工技术半绝缘化的能力也特别有用。这些品质使得碳化硅成为大规模阵列电子应用的候选材料。

[0003] 目前生产中最常用的制备方法是碳热还原法(Acheson),是在电阻炉中将石英(二氧化硅)和焦炭(碳)加热到 2000℃ 以上,生成粗的碳化硅粉体,反应后的样品中通常存在多余的碳和石英,一般将样品加热到 600℃ 以上氧化去除多余的碳,用氢氟酸浸泡去除多余的石英;将样品碾磨和球磨以减小粒度,经过分级处理得到不同尺寸的碳化硅粉。此法生产的 SiC 磨料,因含有较多杂质,使用前需要进行提纯处理,但由于受生产工艺的限制,提纯后的原料纯度仍然无法达到生长半导体 SiC 单晶的水平。

[0004] 然而,在实际应用中,某些器件经常要求高电阻率(“半绝缘”)的衬底,以降低 RF 耦合,或者满足其它的功能性目标如器件绝缘,因为导电衬底在较高的频率下可能带来严重问题。通常,半绝缘 SiC 器件对 SiC 衬底的电阻率要求是越高越好。然而,采用多数技术生长的碳化硅对于半绝缘用途而言一般导电率过高。特别是,碳化硅中的非有意添加的氮浓度在升华生长的晶体中往往足够高,从而能提供充分的导电性,使得碳化硅无法用于要求半绝缘衬底的器件。因此,在制造电子器件用碳化硅晶体时控制杂质元素,尤其是氮含量成为该领域的一个非常重要的问题,因为氮含量会限制所得晶体的潜在应用。

[0005] 研究人员一直致力于控制特别是降低由升华生长腔室气氛中转移到生长中的碳化硅晶体中的氮含量这一问题而努力。例如,US 专利 No. 5718760 中使用惰性氩气清洗生长腔室的办法来减少氮;在 US 专利 No. 5119540 中则采用减少设备自身中的氮含量来减少氮浓度;在 US 专利 07220313 (中国专利 ZL 200480026416.5)中通过在生长腔室中提供含氢的环境气氛来控制生长中碳化硅晶体中的氮含量。研究者还尝试减少碳化硅晶体中的氮含量,在 US 专利 No. 5718760 中介绍了用 p 型掺杂物来补偿氮含量的方法,从而减少氮的影响;在 US 专利 No. 6218680 中选择采用硼元素来补偿固有的氮;在 US 专利 No. 5611955 中则采用引入钒元素来调节氮的影响,得到半绝缘的碳化硅衬底。

发明内容

[0006] 面对现有技术存在的上述问题,发明人经过锐意的研究发现在碳化硅粉体的固相

合成过程中,通过高真空热处理和惰性气体热处理的结合即可降低氮含量。

[0007] 在此,本发明提供一种高纯碳化硅粉体的高温固相合成方法,包括:配料工序:将高纯 Si 粉和高纯 C 粉混合均匀,所述高纯 Si 粉和高纯 C 粉的摩尔比为 1:1 ~ 1.5:1(优选可为 1:1 ~ 1.1:1);高真空热处理工序:将所述高纯 Si 粉和高纯 C 粉放入坩埚中,然后置于加热炉中,对所述加热炉的生长室抽高真空至 9×10^{-4} Pa 以下,同时将温度升高至 600 ~ 1300°C (优选为 1000 ~ 1300°C),保持 2 小时以上;惰性气体清洗工序:向所述生长室中充入第一规定压力(优选为 1.066×10^5 Pa 以下,更优选为 1.0×10^4 ~ 7.0×10^4 Pa)的高纯惰性气体,保持 1 小时以上后,再抽真空至 9×10^{-3} Pa 以下,该工序重复 2 次以上;以及高温合成工序:在第二规定压力(优选为 1.0×10^4 ~ 7.0×10^4 Pa)的高纯惰性气体下,于反应温度 1500 ~ 2500°C (优选为 1800 ~ 2100°C)下,保持反应 2 小时以上,而后降至室温,即可得到氮含量在 15ppm 以下的高纯碳化硅粉体。

[0008] 本发明通过高真空热处理和惰性气体热处理的结合即可降低氮含量,可获得氮含量低的用于半导体 SiC 晶体生长的 SiC 原料,从而降低制备的晶体的本征导电性。而且本发明避免使用氢气这一易爆炸的危险性气体,是可被广泛使用的降低氮含量的方法。例如本发明中涉及的高真空热处理和惰性气体热处理的结合不仅仅局限于制备 SiC 原料的过程中,还可用于处理 SiC 晶体生长前期,从而降低生长系统中的氮含量。

[0009] 此外,本发明的高温合成工序采用一次合成法,克服了二次合成反应工序复杂、易引入杂质的缺点。而且通过调节 Si 粉与 C 粉的摩尔比,可使 Si 与 C 单质发生完全反应,也克服了传统的一次合成反应不完全、不均匀的缺点;另外,通过合成温度及合成时间的选择调节还可有效去除大部分杂质元素,可得到粒径可控、不同晶型的 SiC 粉料。

[0010] 在本发明中,采用的高纯 Si 粉和高纯 C 粉的粒度可为 60 ~ 300 目,纯度可大于 99.99%,例如大于 99.995%。采用高纯的原料可进一步提高制得的碳化硅粉的纯度。

[0011] 在本发明中,采用的高纯非氧化性气氛的纯度优选大于 99.99%,更优选大于 99.999%,所述高纯惰性气体可采用氩气、氮气或其混合气体。本发明可将环境所带来的污染的可能性降到了最低限度,可有效降低合成原料中的氮杂质含量,为高纯半绝缘 SiC 晶体生长提供保障。

[0012] 又,在本发明中,在所述高温合成工序期间,反应器可通循环水冷却,以控制反应温度。

[0013] 在本发明的一个优选的实施方式中,所述高温合成工序可包括:第一合成工序:将温度升温至第一反应温度,反应 1 小时以上;第二合成工序:升温或降温至不同于第二反应温度再反应 2 小时以上;以及重复所述第一合成工序和第二合成工序;其中,所述第一反应温度和第二反应温度分别独立的选自所述反应温度中的任意值,且所述第一反应温度不同于所述第二反应温度。采用分段式合成方案,不仅可使 Si 粉和 C 粉发生充分反应,提高产率,而且可有效降低合成料中的金属杂质含量。

[0014] 又,在本发明中,采用的加热炉可为中频感应加热炉或电阻加热炉。采用的坩埚可为耐高温的坩埚,例如能用于 2000°C 及以上的石墨坩埚或氧化铝坩埚,优选为石墨坩埚。本发明所采用的实验器材方便易得、耐用。

[0015] 另一方面,本发明还提供一种由上述方法制备的高纯碳化硅粉体,所述氮含量可在 15ppm 以下,例如 5 ~ 15ppm。本发明提供的高纯碳化硅粉体氮含量低,纯度高,晶体的本

征导电性低,适用于制备高纯半导体 SiC 单晶及 SiC 陶瓷制品,尤其特别适用于高纯半绝缘 SiC 单晶体的生长。

具体实施方式

[0016] 参照下述实施方式进一步说明本发明,应理解,下述实施方式仅用于说明本发明,而非限制本发明。

[0017] 本发明以高纯 Si 粉和高纯 C 粉通过高温固相合成工艺制备出氮含量低的高纯碳化硅粉体以用于碳化硅单晶生长。高纯 Si 粉和高纯 C 粉的纯度至少大于 99.99% (4N),优选大于 99.995%,以从源头减少杂质。采用的高纯 Si 粉和高纯 C 粉的粒度可选用为 60~300 目。

[0018] 在本发明中,可选用等摩尔的高纯 Si 粉和高纯 C 粉,也可相对于所用的 C 粉,采用稍过量的 Si 粉,以使 Si 与 C 单质发生完全反应。具体地,所用的高纯 Si 粉和高纯 C 粉的摩尔比 1:1 ~ 1.5:1,优选 1:1 ~ 1.1:1。

[0019] 将上述高纯 Si 粉和高纯 C 粉混合均匀,放入坩埚中。混合可采用机械化干混,然后将坩埚置于加热炉中,对加热炉的生长室抽高真空,例如至 9×10^{-4} Pa 以下除去生长室中的气体,然后将温度升高至 600 ~ 1300°C,优选至 1000 ~ 1300°C,保持 2 小时以上,例如 2 ~ 10 小时进行高真空热处理。在此,坩埚可用常用耐高温坩埚,例如能用于 2000°C 及以上的石墨坩埚或氧化铝坩埚,优选石墨坩埚。加热炉可采用中频感应加热炉或电阻加热炉。

[0020] 然后加入第一规定压力的高纯性气体,保持 1 小时以上进行惰性气体清洗,再抽真空至 9×10^{-3} Pa 以下再次进行惰性气体清洗,惰性气体清洗工序优选至少重复 2 次以上。所述第一规定压力为 1.066×10^5 Pa 以下,优选 1.0×10^4 ~ 7.0×10^4 Pa。

[0021] 然后加入第二规定压力的高纯惰性对后续的高温合成反应进行保护。在这里,第二规定压力优选为 1.0×10^4 ~ 7.0×10^4 Pa (100~500Torr)。

[0022] 在惰性气体的保护下,加热至 1500 ~ 2500°C,优选 1800 ~ 2100°C,并于该温度下反应 2 小时以上,例如 2 ~ 20 小时以使反应完全,同时利用高温去除杂质,然后降至室温,即可得到氮含量在 15ppm 以下,例如 5~15ppm 的高纯 SiC 粉。该高温反应期间反应器可通循环水冷却。

[0023] 上述采用的高纯惰性气体的纯度优选大于 99.99%,优选大于 99.999%。高纯惰性气体包括但不限于氩气、氮气或其混合气体。

[0024] 在这里,应理解上述高温反应中,可在某一温度或某一温度范围内连续反应 2 小时以上。但这不是必须的,还可以在上述反应温度范围内采用分段式合成温度的方案。例如先升温至一定的合成温度(第一反应温度)反应 1 小时以上,然后升温或降温至上述温度范围内的另一温度(第二反应温度)反应 2 小时以上,然后重复若干次。应理解,第一反应温度可低于第二反应温度,例如先加热至一个较低的温度,例如 1500 ~ 1800°C,反应 1 小时以上后,升温至一个较高的温度,例如 2100 ~ 2500°C,再反应 2 小时以上。还应理解,第一反应温度可为一个较高的温度,例如 2100 ~ 2500°C,反应 1 小时以上后,降温至一个较高的温度,例如 1500 ~ 1800°C,再反应 2 小时以上。上述升温 and 降温可以交替进行,但应理解可以是有多个反应温度,在这些多于两个的反应温度之间进行升温、升温、降温,或者升温、降温、降温,或降温、降温、升温等反应。

[0025] 本发明通过高真空热处理和惰性气体热处理的结合即可降低氮含量,可获得氮含量低的用于半导体 SiC 晶体生长的 SiC 原料,从而降低制备的晶体的本征导电性。而且本发明避免使用氢气这一易爆炸的危险性气体,是可被广泛使用的降低氮含量的方法。例如本发明中涉及的高真空热处理和惰性气体热处理的结合不仅仅局限于制备 SiC 原料的过程中,还可用于处理 SiC 晶体生长前期,从而降低生长系统中的氮含量。

[0026] 本发明还通过控制 Si 粉与 C 粉的配比、合成温度、合成压力及合成时间一次合成即可高效地制备高纯碳化硅粉,制备工艺简单,能大规模生产;而且因采用高纯度碳源和硅源,采用高纯惰性气体此外,整个合成过程将环境的污染可能降到最低,进一步提高了制备的碳化硅的质量。

[0027] 下面进一步例举实施例以详细说明本发明的示例合成工艺。应理解,下述实施例是为了更好地说明本发明,而非限制本发明。并且为了更好地理解和实施,本发明还示出了对比例。下述实施例和对比例采用的原料、试剂可以通过购买市售原料或传统化学转化方式合成制得。下列实施例中未注明具体条件的实验方法,通常按照常规条件,例如是《贝尔斯坦有机化学手册》(化学工业出版社,1996年)中的条件,或按照制造厂商所建议的条件。除非特别说明,比例和百分比基于摩尔质量。除非另有定义或说明,本文中所使用的所有专业与科学用语与本领域技术熟练人员所熟悉的意义相同。此外任何与所记载内容相似或等同的方法及材料皆可应用于本发明方法中。本发明的其他方面由于本文的公开内容,对本领域的技术人员而言是容易理解的。又,尽管下述实施例示出了具体的实验条件参数,但也应理解,这仅是示例的,本发明的方法的工艺参数可以在本发明示出的范围内变动。

[0028] 实施例 1:高真空热处理结合惰性气体清洗

- (1) 按摩尔比 1:1 取粒度为 200 目的 Si 粉和 C 粉,其纯度均大于 4N;
- (2) 将混合均匀的 Si 粉和 C 粉放入石墨坩埚中,置于加热合成炉中,对合成炉抽真空至 10^{-4} Pa 量级,同时将温度升高至 600°C ,保持 5 小时;
- (3) 向生长室中充入的高纯 Ar 气至 500Torr,保持 2 小时后,再抽真空至 10^{-3} Pa 量级,该工序重复 2 次;
- (4) 向生长室中充入高纯氩气至 1.333×10^4 Pa(即 100Torr),合成温度加热至 1800°C ,合成时间为 10 小时,而后降至室温,得到氮含量为 15ppm 的适合于半导体 SiC 单晶生长的高纯 SiC 粉料。

[0029] 实施例 2:高真空热处理结合惰性气体清洗

- (1) 按摩尔比 1.1:1 取粒度为 250 目的 Si 粉和 C 粉,其纯度均大于 4N;
- (2) 将混合均匀的 Si 粉和 C 粉放入石墨坩埚中,置于加热合成炉中,对合成炉抽真空至 10^{-4} Pa 量级,同时将温度升高至 1300°C ,保持 3 小时;
- (3) 向生长室中充入的高纯 Ar 气至 700Torr,保持 5 小时后,再抽真空至 10^{-3} Pa 量级,该工序重复 3 次;
- (4) 向生长室中充入高纯氩气至 400Torr,合成温度加热至 2100°C ,合成时间为 5 小时,而后降至室温,得到氮含量为 5ppm 的适合于半导体 SiC 单晶生长的高纯 SiC 粉料。

[0030] 实施例 3:高真空热处理结合惰性气体清洗

- (1) 按摩尔比 1.5:1 取粒度为 60 目的 Si 粉和 C 粉,其纯度均大于 4N;
- (2) 将混合均匀的 Si 粉和 C 粉放入石墨坩埚中,置于加热合成炉中,对合成炉抽真空至

10^{-4} Pa 量级,同时将温度升高至 1000°C ,保持 10 小时;

(3)向生长室中充入的高纯 Ar 气至 200Torr,保持 10 小时后,再抽真空至 10^{-3} Pa 量级,该工序重复 2 次;

(4)向生长室中充入高纯氩气至 500Torr,合成温度加热至 2000°C ,合成时间为 20 小时,而后降至室温,得到氮含量为 10ppm 的适合于半导体 SiC 单晶生长的高纯 SiC 粉料。

[0031] 实施例 4 :分段式合成温度的实施例

(1)按摩尔比 1.1:1 取粒度为 300 目的 Si 粉和 C 粉,其纯度均大于 4N;

(2)将混合均匀的 Si 粉和 C 粉放入石墨坩埚中,置于加热合成炉中,对合成炉抽真空至 10^{-4} Pa 量级,同时将温度升高至 1200°C ,保持 15 小时;

(3)向生长室中充入的高纯 Ar 气至 400Torr,保持 5 小时后,再抽真空至 10^{-3} Pa 量级,该工序重复 3 次;

(4)向生长室中充入高纯氩气至 450Torr,先将温度升高至 1600°C ,保持 1 小时;再将合成温度加热至 2000°C ,保持 2 小时,上述温度及反应时间工序重复 3 次,最后降至室温,得到氮含量为 10ppm 的适合于半导体 SiC 单晶生长的高纯 SiC 粉料。

[0032] 对比例 1 : 无惰性气体清洗处理

对比例 1 与实施例 1 的不同之处在于无高纯 Ar 气清洗这一第(3)步骤,结果得到的 SiC 粉料的氮含量达到 55ppm。

[0033] 对比例 2 : 无高真空热处理

对比例 2 与实施例 2 的不同之处在于在步骤(2)中无高真空热处理这一过程,结果得到的 SiC 粉料的氮含量达到 76ppm。

[0034] 对比例 3 :无高真空热处理与惰性气体清洗

本实施例与实施例 1 的不同之处在于在步骤(2)中无高真空热处理这一过程,同时无高纯 Ar 气清洗这一第(3)步骤,结果得到的 SiC 粉料的氮含量达到 165ppm。

[0035] 对比例 4 :无高真空热处理与惰性气体清洗

对比例 4 与实施例 2 的不同之处在于在步骤(2)中无高真空热处理这一过程,同时无高纯 Ar 气清洗这一第(3)步骤,结果得到的 SiC 粉料的氮含量达到 106ppm。

[0036] 采用 TC600 氧氮分析仪测试真空热处理及惰性气体清洗处理前后合成的 SiC 原料中的氮含量,结果如表 1 所示,发现真空热处理结合惰性气体清洗可明显降低合成的 SiC 原料的氮含量。

[0037] 下表给出部分上述实施例和对比例的实验条件及合成出的 SiC 粉料的氮含量:

	部分工艺条件	合成 SiC 粉料中的 氮含量 (ppm)
实施例 1	(高真空 600℃ 热处理 5 小时+Ar 气 500Torr 清洗 2 次)	15
实施例 2	(高真空 1300℃ 热处理 3 小时+Ar 气 700Torr 清洗 3 次)	5
实施例 3	(高真空 1000℃ 热处理 10 小时+Ar 气 200Torr 清洗 2 次)	8
实施例 4	(高真空 1200℃ 热处理 15 小时+Ar 气 400Torr 清洗 3 次+分段式合成温度)	10
对比例 1	1800℃, 100Torr, 10 小时, 合成 (高真空 600℃ 热处理 5 小时, 无惰性气体 清洗)	55
对比例 2	2100℃, 400Torr, 5 小时, 合成 (Ar 气 700Torr 清洗 3 次, 无高真空热处 理)	76
对比例 3	1800℃, 100Torr, 10 小时, 直接合成 (无高真空热处理与惰性气体清洗)	165
对比例 4	2100℃, 400Torr, 10 小时, 直接合成 (无高真空热处理与惰性气体清洗)	106

[0038] 产业应用性: 本发明提供了一种高纯碳化硅粉体的高温固相合成方法, 合成工艺简单有效, 适合大规模生产, 且制备的 SiC 粉体具有纯度高、粒度均匀和氮含量低等特点, 适用于制备高纯半导体 SiC 单晶及 SiC 陶瓷制品, 特别适用于高纯半绝缘 SiC 单晶体的生长。